

磁路による電力輸送の基礎的研究

池尻忠夫* 近藤元輝** 萩原太和***

The Fundamental Study on Electric Power
Transmission by the Magnetic Circuit.

Tadao IKEJIRI, Mototeru KONDO and
Taikazu HAGIHARA

(Received Jan.30, 1987)

The experiments on electric power transmission by the magnetic circuit are presented.

In this method , the electric energy is converted to the magnetic energy which is converted to the electric energy again in the neighbourhood of the electric load.

The current flows only at the sending end and at the receiving end in this electric power transmission system.

So that, the apprehensions of trouble such as the breaking of wire and the grounding are little.

Consequently, the apparatus such as power relay, etc. are unnecessary, the electric transmission system is quite simple and the dangerousness to the human body also falls considerably.

On the other hand, whether the increase of transmitted electric power is obtained or not is the most important problem.

Effects of core material, leakage flux, alternation of magnetic circuit and electric circuit and position of electric power source were studied variously and the possibility was discussed.

It is assumed that if the rapid progress of core materials is produced, the present electric power transmission is certainly.

1. 緒 言

従来、電力の輸送は送電線または電力ケーブルによってなされている。本研究は、これに替わる方式として磁路を用いて電力輸送を行うことを試みたものである。すなわち、電気エネルギーは一度磁気エネルギーに変換され、さらに負荷近傍においてまた電気エネルギーに変換され負荷に供給されることになる。

従来の送電線または電力ケーブルを用いた方式と本実験における磁路による方式とを比較すると後者の場合、送電端および受電端では電流が流れるが、電力輸送の大部分を占める磁路には大電流は流れず、断線、地絡などの故障の恐れがなく、したがってリレーなどが不要となり、極めて簡単化され、また人体に対する危険性も著しく低減されるというメリットがあると考えられる。

一方、輸送電力の増大をうることができるかどうかが問題であるが、これには磁路の構成材料(磁心材料)、漏洩磁束、磁路と電気路の交互配置、電力源の設定位置など種々検討を行ないその可能性を調べた。磁心材料の飛躍的進歩がもたらされればこれらのことも夢ではないと推察される。

なお、送電線による電力輸送が不可能な場合(たとえば地中送電線路、海底における電力輸送の場合。両者の場合、電力ケーブルによる電力輸送が考えられるがその輸送電力量は送電線のそれより可成り小さくと思われる。)などにたとえ局部的でも本方式による電力輸送が重大な役割を果たすようになるものと考えられる。

2. 磁路による電力輸送の理論

電力輸送路は3相について考えるべきであるが、本質的には単相の場合の取扱いで十分であり、問題を簡単化する意味からも単相回路について考察した。

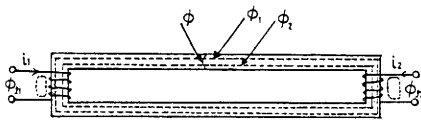


Fig.1 Magnetic circuit

Fig. 1 に示す磁気回路において1次巻線に電流 i_1 、2次巻線に電流 i_2 が流れるとき生ずる主磁束 ϕ を、1次電流 i_1 による成分 ϕ_1 と2次電流 i_2 による成分 ϕ_2 に分け、主磁束 ϕ に対する磁路の磁気抵抗を R_m とすると、

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = \frac{N_1 i_1}{R_m} + \frac{N_2 i_2}{R_m} \quad (1)$$

このとき1次漏れ磁束 ϕ_{e1} 、2次漏れ磁束 ϕ_{e2} が生ずる。1次および2次の自己インダクタンスを L_1 、 L_2 、1次、2次間の相互インダクタンスを M とすると、 ϕ_{e1} 、 ϕ_{e2} を用いて、

$$\left. \begin{aligned} N_1 \phi_{e1} &= L_1 i_1 - N_1 \phi_1 = \left(L_1 - \frac{N_1}{N_2} M \right) i_1 \\ N_2 \phi_{e2} &= L_2 i_2 - N_2 \phi_2 = \left(L_2 - \frac{N_2}{N_1} M \right) i_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

これより、

$$\left. \begin{aligned} \phi_{e1} &= \left(\frac{L_1}{N_1} - \frac{M}{N_2} \right) i_1 \\ \phi_{e2} &= \left(\frac{L_2}{N_2} - \frac{M}{N_1} \right) i_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

いま、1次巻線と2次巻線の巻数および巻線長を等しくし、自己インダクタンス $L_1=L_2=L$ 、巻数 $N_1=N_2=N$ とする。

さて主磁束 ϕ は(1)式より、

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = \frac{N}{R_m} (i_1 + i_2) \quad (4)$$

また、

$$v_2 = N \frac{d\phi}{dt} \quad (5)$$

(4)式を(5)式に代入し、

$$v_2 = \frac{N^2}{R_m} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) \quad (6)$$

したがって、出力電力 p_2 (瞬時電力)は、

$$p_2 = v_2 i_2 = \frac{N^2}{R_m} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) \cdot i_2 \quad (7)$$

$$\text{ここで、} R_m = \frac{NI}{\phi} = \frac{H\ell}{\phi} = \frac{H\ell}{BS} = \frac{\ell}{\mu S}$$

ただし磁心の透磁率を μ 、その断面積を S 、磁路の長さを ℓ とする。

したがって、(7)式は、

$$p_2 = \frac{N^2 \mu S}{\ell} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) \cdot i_2 \quad (8)$$

これより平均電力 P_2 は、

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{1}{T} \int_0^T p_2 dt = \frac{N^2 \mu S}{\ell T} \left\{ \int_0^T i_2 \left(\frac{di_1}{dt} \right) dt + \int_0^T i_2 \left(\frac{di_2}{dt} \right) dt \right\} \\ &= \frac{N^2 \mu S}{\ell T} \left\{ \int_0^T i_2 \frac{di_1}{dt} dt + \left[\frac{1}{2} i_2^2 \right]_0^T \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

いま1次電流、2次電流を次式のように表わすと、

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_{1m} \sin(\omega t - \theta_1) \\ i_2 &= I_{2m} \sin(\omega t - \theta_2) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\int_0^T i_2 \frac{di_1}{dt} dt = \frac{\omega}{2} \left\{ I_{1m} I_{2m} \cos(\theta_1 - \theta_2) \right\} \quad (11)$$

また、

$$i_2^2 = I_{2m}^2 \sin^2(\omega t - \theta_2) \quad (12)$$

故に、

$$[i_2^2]_0^T = 0$$

したがって、

$$P_2 = \frac{1}{T} \int_0^T p_2 dt$$

$$= \frac{N^2 \mu S}{\ell} \frac{\omega^2}{4\pi} \{I_{1m} \cdot I_{2m} \cos(\theta_1 - \theta_2)\} \quad (13)$$

ここで I_{1m} , I_{2m} の実効値をそれぞれ $I_{1m}/\sqrt{2}=I_1$, $I_{2m}/\sqrt{2}=I_2$ とおくと (13) 式は、

$$P_2 = \frac{N^2 \mu S \omega^2}{4\pi \ell} \{I_1 I_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)\} \quad (14)$$

ところで、従来の送電線による伝送電力はその構成が簡単な単純系統では回路の抵抗分および線路の対地静電容量を無視すると 1 相分あたりの伝送電力有効分 P_a は次のように表わされる。

$$P_a = E_s I \cos \varphi = \left(\frac{E_s E_r}{X} \right) \sin \theta \quad (15)^{13)}$$

ここに E_s , E_r はそれぞれ送受電端の相電圧, X は電線や変圧器などのリアクタンスの和, φ は負荷の力率角, θ は \vec{E}_s と \vec{E}_r の間の相差角である。

したがって, (14), (15) 式より, $P_2 \geq P_a$ であれば本磁路による電力輸送が有効であり, $P_2 < P_a$ であれば無効と云うことになる。(14) 式において N , S , ω , I_1 , I_2 などの価が無制限に大きくとれないとすれば以上の条件を満足するためには μ の価の大きい磁心材料の開発が俟たれるわけで、このような状況においては輸送電力の増強をはかることができると思われる。

電力用ケーブルでは熱的限界からくる許容電流以上には電流を運べないことからその送電容量 P_c は自ら定まってくる。²⁾ すなわち送電容量あるいは送電距離は著しく制限をうける。

この場合も $P_2 \geq P_c$ であれば本磁路による電力輸送が有効であり, $P_2 < P_c$ であれば無効と云うことになる。そして $P_a > P_c$ である。

3. 実験方法ならびに実験材料

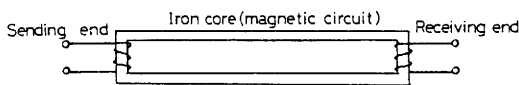


Fig.2 Electric power transmission circuit

Fig. 2 に示す磁気回路で 1 次コイルから 2 次コイルまでの距離 (電力輸送距離) を変化させてこのときの輸送電力を測定した。また磁気回路と電気回路の交互配置のときの輸送電力についても検討を行なった。実験装置の外観を Fig. 3 に示す。

実験に使用した磁心材料は方向性硅素鋼板 (新日本製鉄, オリエントコアハイビー Z6H) で、巻線としては被覆巻線 12 芯 $\nabla 12-1385\text{KHD}$ を用いた。

4. 実験結果とその考察

4. 1 電力輸送距離 (磁路長の約 1/2) に対する輸送電力の変化

Fig. 2 において磁路長を変化したときの輸送電力は Fig. 4 のように示される。ここで図には入力電力 80(W) と 100(W) のときの結果が示されているが、磁心断面積は $4.5 \times 5.0(\text{cm}^2)$, 1 次, 2 次コイルの巻数はともに 500T とした。同図より知られるように磁路長 (電力輸送距離) の増加に伴い

輸送電力は急激に低下する傾向を表わすのがわかる。このような理由としては(14)式より P_2 が磁路長 l (正確にはその約 $1/2$)に反比例すること、 N , S , l , ω , I_1 , I_2 が一定の場合には P_2 は μ の値に比例することから μ の値があまり大きくないことが考えられる。その他、磁束の漏れや、接合部の空隙での鉄損、その他の損失も推察される。

そこでFig. 2 に示す回路で1次, 2次コイル間で磁束の漏れが予想されるのでこれを遮へいするためにFig. 4 に表されるように反磁性体である銅板を用いてこれを□形にして磁心を覆い出力電力を測定した。このときの特性はFig. 4 に併示するようである。ただし, 入力電力100(W), 磁心断面積 $4.5 \times 5.0(\text{cm}^2)$, 1次, 2次コイルの巻数はともに500Tである。

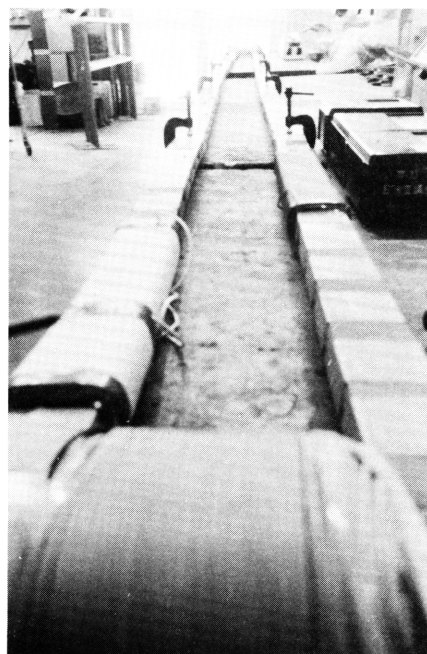


Fig.3 Experimental equipment

4. 2 磁気回路と電気回路を交互に配置したときの輸送電力特性

Fig. 5 に示されるように磁気回路と電気回路を交互に配置し, 輸送電力の増大をはかったとき

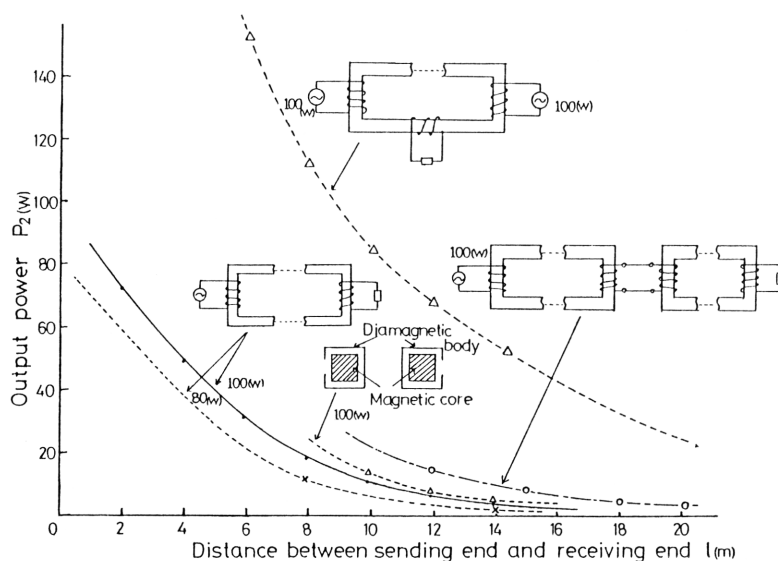


Fig.4 Output in the production of magnetic circuit

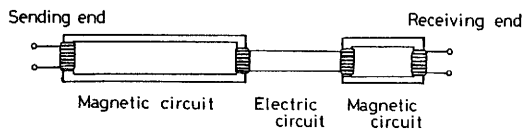


Fig.5 Electrical power transmission having the alternation of magnetic circuit and electric one.

電気回路が1個のみを配置するのみであったが、このような回路の交互接続を繰り返すことにより、さらに輸送電力は増大するものと思われる。このような理由は磁心材料の μ がいまだ小さくて磁路による電力輸送が現状においては満足すべき状態にほど遠いためと考えられる。一方電気回路との併用によって電力輸送距離の増大を示唆することにもなると推察される。

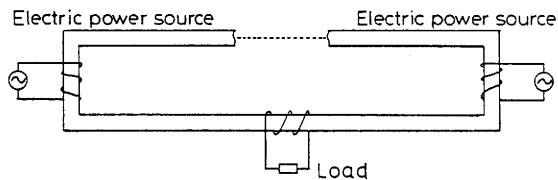


Fig.6 Experimental circuit having the electric power sources in both ends and the load in the middle of magnetic circuit

の輸送電力の測定結果はFig. 4 に併示されるようである。ただしこの場合も入力電力100(W), 磁心断面積 4.5×5.0 (cm²), 1次, 2次コイルの巻数はともに500Tである。Fig. 4 より知られるように磁気回路と電気回路の交互配置の方が磁気回路のみの場合より輸送電力は大きくなっているのがわかる。本実験では磁気回路が2個,

4・3 両端給電のときの輸送電力特性

Fig. 6 に示されるように両端より給電したときの磁路の中における出力電力特性はFig. 4 に併示されるようである。ただし, 磁心断面積は 4.5×5.0 (cm²), 1次, 2次コイルの巻数は500T, 入力電力は両端ともに100(W)である。

4. 4 電力輸送距離増大を想定した実験

Fig. 5, Fig. 6 の場合を組合わせFig. 7 のように磁気回路と電気回路を交互に配置し, 電力供給源も3個所に分けて配置し, 供給電力を増したときの輸送電力を測定した。このときの輸送電力特性をFig. 8 に示す。ただし磁心断面積 4.5×5.0 (cm²), 1次, 2次コイルの巻数500T, 入力電力はいずれも100(W)である。なお本実験は実験室の場所的制限により磁路の延長が不可能なことから, 設備上大電力を一度に1次コイルのみに供給することが出来ないため, これを本実験のような方法によって行ない長距離の輸送電力特性を推定するために行なったものである。

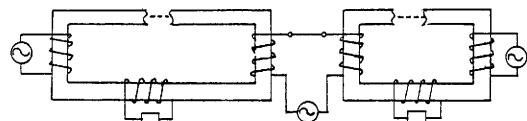


Fig.7 Experimental circuit having the alternation of magnetic circuit and electric one and three electric power sources

さて4・1~4・4において1次コイルに供給する電力を変化させるときの輸送電力特性は同じ傾向の曲線で表わされるのが知られるが, N , S , ω , μ が一定という条件のもとではFig. 8 に予想される特性曲線を描くことにより, たとえば電力輸送距離100mで数Wの電力を得るには, 電力供給源から輸送距離1mのところでは約3kwの電力を得る程度の電力を1次コイルに供給する必要があることになる。

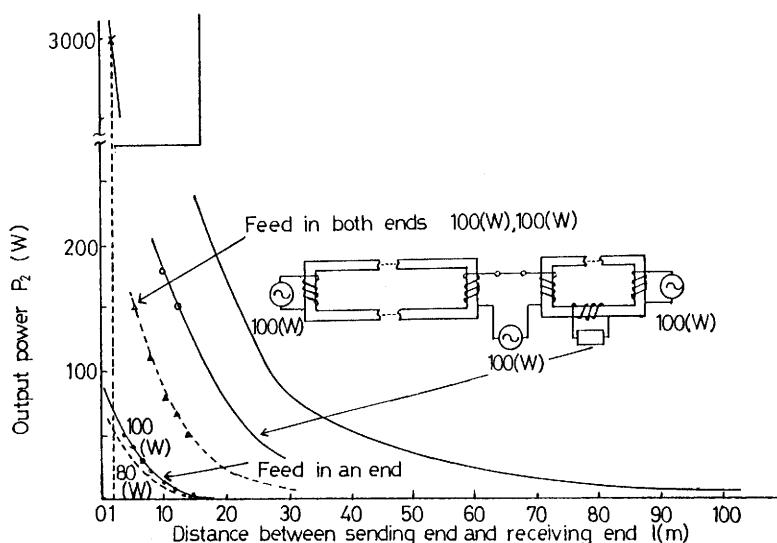


Fig.8 Electrical power transmission having the alternation of magnetic circuit and electric one

5. 結 言

以上、磁路による電力輸送に関する基礎的実験を行ったが、輸送電力の増大をはかるためには磁心材料、磁束の漏れなどについてさらに十分な研究が必要とされるものと思われる。電力輸送距離の増大に伴って輸送電力は小さくなるが、これを改善するためには飽和磁束密度 B_m が大きく、強い磁化力に対して飽和しにくく、透磁率 μ の大きい安価な磁心材料の開発が期待される。

最後に本研究に対し初期の段階において有益な示唆を与えて戴いた本学前教授齊藤清吉先生に、また、平素研究の全般に対し貴重な御指導を戴いている元教授長田晋吾先生に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 林泉, 電力系統 p.17 (1976) 昭晃堂
- 2) 麻生忠雄, 河野照哉, 電力工学II, p.156 (1976) 朝倉書店

